

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

19.02.03

07505219

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2002年 2月21日

出 願 番 号  
Application Number:

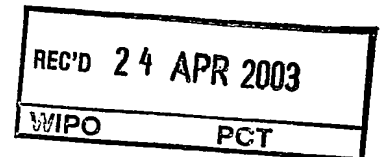
特願2002-045417

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-045417 ]

出 願 人  
Applicant(s):

科学技術振興事業団  
折田 政寛  
太田 裕道

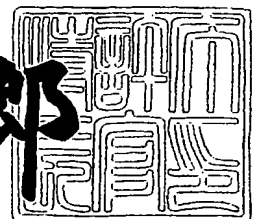


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 4月 1日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3022293

BEST AVAILABLE COPY

【書類名】	特許願
【整理番号】	E060P23
【提出日】	平成14年 2月21日
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	C30B 29/46
	C30B 25/00
	H01L 33/00
	H01L 21/336
【発明者】	
【住所又は居所】	神奈川県大和市下鶴間 2 7 8 6 - 4 - 2 1 2
【氏名】	細野 秀雄
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都世田谷区松原 5 - 5 - 6
【氏名】	平野 正浩
【発明者】	
【住所又は居所】	千葉県船橋市三山 5 - 7 - 9
【氏名】	折田 政寛
【発明者】	
【住所又は居所】	神奈川県川崎市高津区千年 1 1 8 4    グランドール B 2 0 2
【氏名】	太田 裕道
【発明者】	
【住所又は居所】	神奈川県相模原市東林間 8 - 9 - 6 グリーンコア 2 0 1
【氏名】	植田 和茂
【発明者】	
【住所又は居所】	神奈川県川崎市中原区新城 5 - 9 - 6 エクセルスリー 1 0 1
【氏名】	平松 秀典

【特許出願人】

【識別番号】 396020800

【氏名又は名称】 科学技術振興事業団

【特許出願人】

【識別番号】 500038215

【氏名又は名称】 折田 政寛

【特許出願人】

【識別番号】 500037942

【氏名又は名称】 太田 裕道

【代理人】

【識別番号】 100108671

【弁理士】

【氏名又は名称】 西 義之

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 048541

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】  $\text{LnCuO}(\text{S}, \text{Se}, \text{Te})$  単結晶薄膜とその製造方法、及び該単結晶薄膜を用いた光デバイスまたは電子デバイス

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 単結晶基板上に基材薄膜を成長させ、さらにその上に、アモルファスないし多結晶  $\text{LnCuOX}$ （ただし、 $\text{Ln}$ は、ランタノイド元素または  $\text{Y}$  のうち少なくとも 1 種類、また、 $\text{X}$  は、 $\text{S}$ 、 $\text{Se}$ 、または  $\text{Te}$  のうち少なくとも 1 種類を意味する。）薄膜を堆積させた後、真空封入下で  $500^\circ\text{C}$  以上の高温でアニールする事を特徴とする  $\text{LnCuOX}$  単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の基材薄膜が、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Cu}_2\text{S}$ 、 $\text{CuS}$ 、 $\text{Cu}_2\text{O}$ 、 $\text{CuO}$ 、 $\text{CuCl}$ 、 $\text{CuCl}_2$ 、 $\text{CuI}$ 、 $\text{Ag}$ 、 $\text{Ag}_2\text{S}$ 、 $\text{Ag}_2\text{O}$ 、 $\text{AgO}$ 、 $\text{AgCl}$ 、 $\text{AgI}$ 、 $\text{Au}$  のいずれかであることを特徴とする請求項 1 記載の単結晶薄膜製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の単結晶基板が、 $\text{YSZ}$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{STO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、または  $\text{MgO}$  であることを特徴とする請求項 1 記載の単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 4】 請求項 1 記載の基材薄膜として、 $\text{YSZ}(100)$  または  $\text{Y}_2\text{O}_3(100)$  単結晶基板上に成長した  $\text{Cu}$  薄膜を用いることを特徴とする請求項 1 に記載の単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 5】  $\text{LnCuOX}$  蒸気を含む雰囲気アニールする事を特徴とする請求項 1 に記載の単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 6】 堆積した  $\text{LnCuOX}$  膜表面を  $\text{YSZ}$  単結晶基板で覆ってから真空封入することを特徴とする請求項 1 に記載の単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 7】 2 枚の  $\text{LnCuOX}$ /基材薄膜/単結晶基板の積層膜または  $\text{LnCuOX}$ /基材薄膜/単結晶基板と  $\text{LnCuOX}$ /単結晶基板の積層膜の表面同士を張り合わせて、真空封入することを特徴とする請求項 1 に記載の単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 8】 請求項 1 から 6 のいずれかに記載の製造方法で得られたことを特徴とする  $\text{LnCuOX}$ （ただし、 $\text{Ln}$ は、ランタノイド元素または  $\text{Y}$  のうち少なくとも 1 種類、また、 $\text{X}$  は、 $\text{S}$ 、 $\text{Se}$ 、または  $\text{Te}$  のうち少なくとも 1 種類を意味する）単結晶薄膜。

【請求項 9】 請求項 7 記載の  $\text{LnCuOX}$  単結晶薄膜を用いることを特徴とする

発光ダイオード素子、半導体レーザー素子、電界効果型トランジスタ素子、またはヘテロバイポーラトランジスタ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、 $\text{LnCuO}(\text{S}, \text{Se}, \text{Te})$ （ただし、Lnは、ランタノイド元素またはYのうち少なくとも1種類を意味する。）単結晶薄膜の製造方法、及び該単結晶薄膜を用いた光デバイスまたは電子デバイスに関する。

【0002】

【従来の技術】

（エピタキシャル膜の製造方法）

エピタキシャル成長とは、真空中で単結晶の基板上に蒸着膜を成長させ、基板結晶の規則的な原子配列の影響を反映して、基板結晶方位と蒸着膜の結晶方位が決まった関係で成長することを指す。エピタキシャル成長技術として代表的な薄膜成長技術は、スパッタリング法、化学気相蒸着（CVD）法、分子線エピタキシー（MBE）法、パルスレーザー蒸着（PLD）法などである。

【0003】

非熱平衡蒸発を用いるスパッタリング法は、現在最も広く普及し、工業的にも活用されている手法である。成膜法としてのスパッタリング法は1852年にW. Groveが発見したスパッタ現象を利用した方法である。スパッタ現象とは、ターゲット表面に入射する高運動エネルギー粒子（イオンまたはターゲット表面近傍で電子により中性化された原子）が弾性衝突によりターゲット構成原子にその運動量を与え、反跳原子は近傍の原子と次々と衝突を繰り返し、結果として、ターゲット表面原子が放出されることを指す。スパッタリング法による製膜法は、放出されたターゲット構成原子を基板上に堆積させ薄膜化するものである。

【0004】

化学気相蒸着（CVD、Chemical Vapor deposition）法は、塩化物あるいは有機金属化合物を原料にして、基板上で原料ガスを化学反応させ、所望の組成を有する薄膜を基板上に育成する方法であり、量産性に優れているため、半導体レーザ

ーなどの実用材料に広く使われている。

【0005】

分子線エピタキシー (MBE, Molecular Beam Epitaxy) 法は、1968年当時米国ベル研究所にいた、J.R.Arthurにより命名された技術であり、主にGaAs等の化合物半導体を対象に開発された薄膜結晶成長法である。MBE法は、真空蒸着法の改良・発展形とみなすことが出来る。

【0006】

これは、超高真空中で、成長させようとする結晶の原材料の中性分子（または原子）の流れ、すなわち分子線（原子線）の強度を精度よく制御し、これを精度よく加熱した基板に入射させることによりエピタキシャル結晶成長を行わせる方法である。MBE法で取り扱うことのできる材料の種類は、化合物半導体、Siなどの元素半導体、さらには、各種の金属、酸化物超伝導体と多岐に渡る。通常の真空蒸着法との違いは、成長室内の真空度が $10^{-7} \sim 10^{-8}$ Pa以下であり、結晶の表面が原子スケールで常に清浄に保たれた状態で成長が行われ、分子線の強度が精度よく制御されていることである。

【0007】

パルスレーザー蒸着 (PLD, Pulsed Lasered Deposition) 法は、1960年のルビーレーザーの発振からまもなく研究開発され始めた手法で、実際は1980年代後半からエキシマレーザーを利用し、高温超伝導体、誘電体、有機高分子などの単結晶薄膜製造方法として応用されてきた。

【0008】

レーザーアブレーションとは、レーザー光を固体に照射した場合、レーザー光の照射強度があるしきい値以上になると、固体表面で、電子的、熱的、光化学的および力学的エネルギーに変換され、その結果、様々な種類のフラグメント（中性原子、分子、正負イオン、ラジカル、クラスタなど）が爆発的に放出され、固体表面がエッチングされるプロセスのことを称す。

【0009】

PLD法とは、このレーザーアブレーションの原理を利用して、成長室内の真空度が $10^{-7} \sim 10^{-8}$ Pa以下の超高真空雰囲気下、または反応性ガスをフローさせ

ることにより充分制御された雰囲気下で、基板上に固体の単結晶薄膜を製造する方法である。PLD法の特徴は、同じ非熱平衡蒸着プロセスを用いるスパッタリングと異なり、ターゲットと得られる膜の組成ずれが少ないこと、ターゲット交換という非常に簡単な手法で様々な物質の単結晶薄膜の製造が可能であることなどが挙げられる。その特長を生かし、近年では、特に物質探索を行う研究分野で積極的に利用されている成膜方法である。

#### 【0010】

##### 【発明が解決しようとする課題】

本発明は、固相エピタキシャル法を用いて $\text{LnCuOX}$ （ただし、 $\text{Ln}$ は、ランタノイド元素または $\text{Y}$ のうち少なくとも1種類、また、 $\text{X}$ は、 $\text{S}$ 、 $\text{Se}$ 、または $\text{Te}$ のうち少なくとも1種類を意味する。）エピタキシャル単結晶薄膜成長を実現する手法である。 $\text{LnCuOX}$ はその多結晶膜においても励起子由来の発光が確認され、発光材料としては非常に有望であり、単結晶薄膜を得ることができれば次世代の紫外発光デバイス材料として利用することができる。しかしながら、 $\text{LnCuOX}$ は、その構成元素が蒸気圧の高い $\text{Cu}$ 化合物および $\text{X}$ を含むものであり、真空雰囲気を利用した成膜方法を用いた場合、 $\text{Cu}$ および $\text{X}$ 成分の組成ずれが大きく、単一相を得ることさえ困難である。

#### 【0011】

また、 $\text{LnCuOX}$ はワイドギャップ $p$ 型半導体である。一般的に、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{SnO}_2$ など殆どのワイドギャップ物質は $\text{Si}$ のようなバイポーラ物質ではなく、メインキャリアを電子とする $n$ 型半導体である。したがって、それらでFET（電界効果トランジスタ、Field Effect Transistor）構造を形成した場合のゲート電圧は正となる。しかしながら、ワイドギャップ $p$ 型半導体である $\text{LnCuOX}$ によって同様のFET構造を構築すればそのゲート電圧は負で動作するため、前述の $n$ 型ワイドギャップ半導体FETと組み合わせることによってワイドギャップCMOS回路（Complimentary-MOS）、すなわち、高性能の透明電子回路の製造が可能となる。同様に、 $n$ 型半導体と組み合わせることによって $pn$ 接合を用いたヘテロバイポーラトランジスタまたは発光ダイオードの製造も可能である。

#### 【0012】

(LnCuOXに関して)

1981年、Palazziによって層状構造からなるオキシサルファイドLaCuOSの存在が初めて報告された (M. Palazzi, Acad. Sci. Paris C. R. 292, 789 (1981))。LaCuOSの結晶系は正方晶系であり、空間群はNo. 129、 $P4/nmm$ をとる。Z=2であり、格子定数は $a=3.999 \text{ \AA}$ 、 $c=8.53 \text{ \AA}$ である。 $(La_2O_2)^{2+}$ 相と $(Cu_2S_2)^{2-}$ 相がそのc軸に沿って交互に積層した層状構造を有している。

【0013】

2000年、K.Uedaらによって、LaCuOSは、バンドギャップ約3.1 eVの透明p型半導体であることが初めて報告され、次世代のワイドギャップp型半導体材料として有望であることが示唆された (←参考文献: K.Ueda, S.Inoue, S. Hirose, H.Kawazoe and H.Hosono, Appl.Phys.Lett., 77, 2701 (2000))。

【0014】

2001年、K.Uedaらによって、LaCuOSは、室温においても安定な励起子由来の吸収、および発光特性を有しており、次世代の紫外発光素子材料として有望であることが報告された (←参考文献: K.Ueda, S.Inoue, H.Hosono, N.Sarukura and M.Hirano, Appl.Phys.Lett., 78, 2333 (2001))。

【0015】

このLaCuOSのLaサイトをその他のランタノイド元素と置換した場合、またはSサイトをSe、Teのカルコゲン元素と置換した場合でも同じ結晶構造を有することが知られており、同様の手法によって合成が可能であることが報告されている (D.O.Charkin, A.V.Akopyan and V.A.Dolgikh, Russian J. Inorg. Chem., 44, 833 (1999))。したがって、すべてのLnCuOXに関して同じ手法で単結晶薄膜成長ができる。

【0016】

(従来のLnCuOX膜製造方法およびその問題点)

LnCuOXはワイドギャップp型半導体ないし紫外発光素子の活性層として期待されている材料であるが、単結晶薄膜の製造は極めて困難であった。従来、LnCuOX薄膜は、スパッタリング法により、適切な条件でアモルファス膜を成長させ、その後高温でアニールすることによって製造されていた (Ueda, S.Inoue, S.Hirose,



H.Kawazoe and H.Hosono, Appl. Phys. Lett., 77, 2701 (2000)。

【 0 0 1 7 】

しかしながら、このような方法で製造される膜はすべて多結晶であり、発光素子、電子素子材料として十分に高い発光効率、電子移動度を示していなかった。したがって、発光材料として、またはp型伝導性半導体として実用化するためには、結晶性の良い薄膜を成長させる有効な単結晶製造方法の開発が切望されていた。

【 0 0 1 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明では、こうした問題を解決するために、まず、基材薄膜を単結晶基板上に成長させ、該基材薄膜上に、アモルファスないし多結晶 $\text{LnCuOX}$ （ただし、 $\text{Ln}$ は、ランタノイド元素または $\text{Y}$ のうち少なくとも1種類、また、 $\text{X}$ は、 $\text{S}$ 、 $\text{Se}$ 、または $\text{Te}$ のうち少なくとも1種類を意味する）を堆積させ、それを真空封入下で $500^\circ\text{C}$ 以上の高温でアニールすることにより $\text{LnCuOX}$ 単結晶薄膜を成長することを特徴とする $\text{LnCuOX}$ 単結晶薄膜の製造方法である。

【 0 0 1 9 】

本発明の $\text{LnCuOX}$ 単結晶薄膜は、基材となる薄膜上に一旦形成されるが、基材薄膜として、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Cu}_2\text{S}$ 、 $\text{CuS}$ 、 $\text{Cu}_2\text{O}$ 、 $\text{CuO}$ 、 $\text{CuCl}$ 、 $\text{CuCl}_2$ 、または $\text{CuI}$ 膜を用いた場合、該基材成分のうちの $\text{Cu}$ 、 $\text{O}$ 、 $\text{S}$ は $\text{LnCuOX}$ 中に混入し、また、 $\text{Cl}$ 、 $\text{I}$ は蒸発するため消失し、基材薄膜を成長させた $\text{YSZ}$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{STO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ いずれかの単結晶基板上に、直接 $\text{LnCuOX}$ がエピタキシャル成長した状態になる。

【 0 0 2 0 】

基材薄膜として  $\text{Cu}$ 、 $\text{Cu}_2\text{S}$ 、 $\text{CuS}$ 、 $\text{Cu}_2\text{O}$ 、 $\text{CuO}$ 、 $\text{CuCl}$ 、 $\text{CuCl}_2$ 、または $\text{CuI}$ 膜以外の $\text{Ag}$ 、 $\text{Ag}_2\text{S}$ 、 $\text{Ag}_2\text{O}$ 、 $\text{AgO}$ 、 $\text{AgCl}$ 、 $\text{AgI}$ などの $\text{Ag}$ 化合物、 $\text{Au}$ を用いた場合、これらの薄膜成分は $\text{LnCuOX}$ と未反応のまま $\text{YSZ}$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{STO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ いずれかの単結晶基板上にそのまま残るか、一部 $\text{LnCuOX}$ 内に拡散し不純物として残留する。

【 0 0 2 1 】

本発明の方法においては、加熱処理中に $\text{Cu}$ ないし $\text{X}$ 成分の蒸発を抑制するため、 $\text{LnCuOX}$ /基材薄膜/単結晶基板の積層膜を真空封入された状態でアニールする。

## 【 0 0 2 2 】

こうして製造されたLnCuOX単結晶膜は、室温で励起子による発光効率が高いことを利用して紫外発光デバイス（ダイオード、レーザー）の活性層として用いることが可能である。こうして製造されたLnCuOX単結晶膜は、電界効果型トランジスタ素子（FET）構造を構築することにより、ゲート電圧が負で動作する透明FETの作製が可能であり、n型半導体と組み合わせることによってCMOS回路ないしヘテロバイポーラ素子の製造が可能である。

## 【 0 0 2 3 】

## 【発明の実施の形態】

本発明のLnCuOX単結晶薄膜の製造方法において、基材薄膜の成長には、スパッタリング法、CVD法、MBE法、PLD法などの成膜法を適宜使用できる。単結晶基板としては、YSZ、 $Y_2O_3$ 、STO、 $Al_2O_3$ 、またはMgOなどを使用できるが、特に、YSZ(100)または $Y_2O_3$ (100)単結晶は、1200℃以下の高温においてもLnCuOX化合物と化学反応することがなく、単結晶基板として好ましい。

## 【 0 0 2 4 】

成膜工程としては、まず、YSZ、 $Y_2O_3$ などの単結晶基板上に、Cu、 $Cu_2S$ 、CuS、 $Cu_2O$ 、CuO、CuCl、 $CuCl_2$ 、CuI、Ag、 $Ag_2S$ 、 $Ag_2O$ 、AgO、AgCl、AgI、Auのいずれかの基材薄膜を成長させる。基材薄膜としてCuまたはCu系化合物を用いた場合は、Cu、O、S成分はその上に堆積されるLnCuOX薄膜中に混入する。しかし、CuおよびCu系化合物以外の場合、基材薄膜成分は、単結晶基板とLnCuOXとの界面に残留するだけでなく、一部はLnCuOX膜中に拡散する。

## 【 0 0 2 5 】

該基材薄膜上に、LnCuOX焼結体をターゲットとして、LnCuOSの場合には $H_2S$ 雰囲気下で、LnCuOSeおよびLnCuOTeの場合には、アルゴンないし真空雰囲気下でLnCuOX薄膜を堆積させる。堆積方法は、スパッタリング法およびPLD法が簡便であり好ましいが、この手法に限られるものではない。基材上に堆積させるLnCuOX膜は、多結晶膜でもアモルファスでもよい。

## 【 0 0 2 6 】

得られたLnCuOX/基材薄膜/単結晶基板の積層膜を真空封入し、500℃以上、

好ましくは1000℃以上の温度で加熱処理を行う。500℃未満では拡散が不十分のため均一な単結晶LnCuOX薄膜が得られない。また、加熱温度が1200℃程度以上になると単結晶基板とLnCuOX化合物が反応するため、また、石英ガラスが軟化し、封入管として使用できなくなるので好ましくない。

## 【0027】

CuないしX成分は、その蒸気圧が高いため、真空下で高温でアニールすると、処理中に該LnCuOX薄膜から、Cu、X成分が蒸発し、加熱処理後に得られる薄膜組成が大幅に変化してしまい、良質なLnCuOX単結晶が得られないことがある。Cu、X成分の蒸発を抑制するためには、まず、加熱前に該積層膜を真空排気された石英管などの密閉容器中に封入してしまうとよい。

## 【0028】

さらに、ごく僅かなCu、X成分の蒸発を抑制するためには、真空封入された状態で、かつ加熱雰囲気下でCu、X成分の蒸気圧を補償するために、密閉容器中に該単結晶薄膜と同化学式のLnCuOX蒸気を発生させ、LnCuOX蒸気を含む雰囲気アニールするとよい。たとえば、LnCuOX粉末を密閉容器中に同封することもその方法の1つである。

## 【0029】

ただし、そのLnCuOX粉末を用いる場合、加熱中に発生するLnCuOX蒸気が固化し、該単結晶薄膜表面に微粒子が析出して荒れることがある。それを防ぐには、YSZのようなLnCuOX膜と反応性のない基板でLnCuOX膜の表面を覆ってから真空封入するとよい。

## 【0030】

さらに、Cu、X成分の蒸発を抑制するためには、2枚のLnCuOX/基材薄膜/単結晶基板の積層膜の表面同士を張り合わせて、真空封入するとよい。2枚を張り合わせる場合、その一方は基材薄膜のないLnCuOX/単結晶基板の積層膜でもよい。この場合は、基材薄膜を堆積した方だけがLnCuOX単結晶薄膜となる。

## 【0031】

こうして得られたLnCuOX単結晶薄膜は、ZnO、ZnS、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SnO}_2$ のいずれかのn型半導体と積層構造を形成することによって発光ダイオードの製造が可能である

こうして得られた $\text{LnCuOx}$ 単結晶薄膜は、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{ZnO:Mg}$ などとダブルヘテロ構造を構築することによって半導体レーザーの製造が可能である。

こうして得られた $\text{LnCuOx}$ 単結晶薄膜は、YSZをゲート絶縁膜として堆積し、Pt-PdまたはITOをソース、ドレイン電極とすることによってFETの製造が可能である。

こうして得られた $\text{LnCuOx}$ 単結晶薄膜は、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SnO}_2$ のいずれかの $n$ 型半導体とヘテロ構造を形成し、各表面にオーミック電極を形成することによってヘテロバイポーラトランジスタの製造が可能である。

#### 【 0 0 3 2 】

##### 【実施例】

以下に実施例を挙げて本発明を詳細に説明する。

##### （実施例 1）

##### 1. Cu薄膜の成長

YSZ (100) 単結晶基板 (10 mm $\square$  × 0.5 mm $t$ ) 上に、基板温度 200℃ で PLD 法により Cu 薄膜を成長させた。X線反射率および蛍光 X線測定から求めた Cu 薄膜の厚みは 5 nm であった。成長した Cu 薄膜の結晶性を HRXRD により評価したところ、YSZ (100) 基板上に Cu は (111) 配向しており、そのチルト角は 0.01 度であった。

#### 【 0 0 3 3 】

##### 2. LaCuOS / Cu 積層薄膜の作製

YSZ (100) 基板上に成長した Cu 薄膜を基材として、基板温度を室温として、パルスレーザー蒸着法 (PLD 法) により、LaCuOS 焼結体をターゲットとして  $\text{H}_2\text{S}$  雰囲気下で LaCuOS を堆積させた。X線反射率測定から LaCuOS 薄膜の膜厚は 200 nm であることが分かった。堆積した LaCuOS 薄膜はアモルファスであった。

#### 【 0 0 3 4 】

##### 3. LaCuOS 単結晶薄膜の作製

作製した LaCuOS / Cu / YSZ 積層膜 2 枚の表面同士を張り合わせて、蒸気圧の高い Cu、S 成分の蒸発を抑制するため、LaCuOS 粉末 (平均粒径約 0.1  $\mu\text{m}$ 、約 0.

1 g) と一緒に石英ガラス管に真空封入して、該石英ガラス管を大気中、100℃で30分間加熱してアニール処理を施した。加熱処理終了後は室温まで炉内で冷却した。

#### 【0035】

#### 4. LaCuOS単結晶薄膜の結晶性

作製したLaCuOS単結晶薄膜の結晶性は高分解能X線回折 (HRXRD, Rigaku製ATX-G,  $\text{CuK}\alpha_1$ ) を用いて調べた。図1に、Out-of-plane XRDパターンを示す。LaCuOSの(001)面の強い回折ピークがYSZ(100)ピークとともに観測された。LaCuOS(001)がYSZ(100)上に強く配向していることを示し、ロッキングカーブ測定からLaCuOS(001)面のチルト角は0.1度であった。また、基材薄膜として成長させたCu薄膜の回折は消滅した。作製したLaCuOS薄膜はIn-plane測定からエピタキシャル成長していることが明らかになった。エピタキシャル関係は次の通りである。

LaCuOS (001) //YSZ (100)

LaCuOS (110) //YSZ (010)

#### 【0036】

#### 5. LaCuOS単結晶薄膜の光吸収特性及び発光特性

作製したLaCuOS単結晶薄膜をクライオスタット (ダイキン製, 4.2 K) に取り付けて、系内を真空排気した後、温度を10 Kまで冷却した。図2に、10 K~300 Kまでの光吸収スペクトルの温度依存性を示す。励起子由来のシャープな吸収が得られた。図2中に、比較例として、LaCuOS多結晶の6 Kにおける吸収スペクトルを示した。

#### 【0037】

発光スペクトルはレンズで集光してバンドルファイバーに導き、分光して電荷結合デバイス (CCD) を用いて検出した。Nd:YAGの4倍波 (波長266 nm) を薄膜に照射することで励起を行った。図3に、10 K~300 Kまでの発光スペクトルの温度依存性を示す。中心波長390 nmのシャープな紫外発光が得られた。

#### 【0038】

(実施例2)

1.  $\text{Y}_2\text{O}_3$  単結晶基板の作製

YSZ (1 0 0) 結晶基板 (1 0 mm 口  $\times$  0.5 mm t) 上に、基板温度 9 0 0  $^{\circ}\text{C}$  で PLD 法により  $\text{Y}_2\text{O}_3$  単結晶薄膜を成長させた。X 線反射率から求めた  $\text{Y}_2\text{O}_3$  薄膜の厚みは 3 5 nm であった。作製した  $\text{Y}_2\text{O}_3$  単結晶薄膜の結晶性を HRXRD により評価したところ、YSZ (1 0 0) 基板上に  $\text{Y}_2\text{O}_3$  は (1 0 0) 配向しており、そのチルト角は 0.5 度であった。In-plane 測定から作製した  $\text{Y}_2\text{O}_3$  薄膜はエピタキシャル成長していることが明らかになった。エピタキシャル関係は次の通りである。

$$\text{Y}_2\text{O}_3 (1 0 0) // \text{YSZ} (1 0 0)$$

$$\text{Y}_2\text{O}_3 (0 1 0) // \text{YSZ} (0 1 0)$$

$$[0 0 3 9]$$
2.  $\text{Cu}/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{YSZ}$  積層薄膜の作製

実施例 1 - 1 と同様の作製法により、 $\text{Y}_2\text{O}_3/\text{YSZ}$  単結晶基板上に  $\text{Cu}$  薄膜を成長させた。成長した  $\text{Cu}$  薄膜の結晶性を HRXRD により評価したところ、 $\text{Y}_2\text{O}_3$  (100) /YSZ (100) 基板上に  $\text{Cu}$  は (111) 配向しており、そのチルト角は 0.0 1 度であった。

$$[0 0 4 0]$$
3.  $\text{LaCuOS} / \text{Cu} / \text{Y}_2\text{O}_3$  積層薄膜の作製

$\text{Y}_2\text{O}_3/\text{YSZ}$  (100) 単結晶基板上に成長した  $\text{Cu}$  薄膜を基材として、基板温度を室温として、パルスレーザー蒸着法 (PLD 法) により実施例 1 - 2 と同じ条件で  $\text{LaCuOS}$  を堆積させた。X 線反射率測定から  $\text{LaCuOS}$  薄膜の膜厚は 2 0 0 nm であることが分かった。作製した  $\text{LaCuOS}$  薄膜はアモルファスであった。

$$[0 0 4 1]$$
4.  $\text{LaCuOS}$  単結晶薄膜の作製

実施例 1 - 3 と同様に単結晶  $\text{LaCuOS}$  薄膜を作製した。

$$[0 0 4 2]$$
5.  $\text{LaCuOS}$  単結晶薄膜の結晶性

作製した単結晶薄膜の結晶性は高分解能 X 線回折 (HRXRD, Rigaku 製 ATX-G,  $\text{CuK}\alpha_1$ ) を用いて調べた。図 4 に、Out-of-plane XRD パターンを示す。 $\text{Y}_2\text{O}_3$  と  $\text{Cu}$  または  $\text{LaCuOS}$  は未反応であった。また、基材として成長させた  $\text{Cu}$  薄膜の回折は消滅

した。LaCuOSの(001)面の強い回折ピークが $Y_2O_3$ (100)およびYSZ(100)ピークとともに観測された。LaCuOS(001)が $Y_2O_3$ (100)上に強く配向していることを示し、ロッキングカーブ測定からLaCuOS(001)面のチルト角は0.1度であった。

#### 【0043】

(比較例1)

(通常のPLDを実施した例)

LaCuOS焼結体をターゲットとして用い、 $H_2S$ 雰囲気下、基板温度500～900℃で、PLD法によりYSZ(100)単結晶基板上に薄膜を堆積させた。蛍光X線分析による組成分析を行ったところ、La/Cu原子比は基板温度の上昇に伴い増加する傾向を示した。また、膜中のS濃度は基板温度の上昇に伴い減少する傾向を示した。これらのデータから、基板温度の上昇に伴い、蒸気圧の高いCu、S成分の昇華が起こったと結論できる。作製した薄膜のXRD測定を行ったところ、LaCuOSの単一相のパターンは一切認められなかった。

#### 【0044】

図5に、例として基板温度500℃、 $H_2S$ 雰囲気下でPLD法により堆積した膜のXRDパターンを示す。LaCuOSのピークのほかに $La_2O_3$ および $La_2O_2S$ のピークが観測されている。この結果は、膜中のLa濃度がCuと比較して高いという組成分析の結果とも一致する。本比較例から、PLDなどの気相法では、直接的にLnCuOX薄膜を作製することが困難であることがわかる。

#### 【0045】

(比較例2)

(基材薄膜なしで同様の加熱処理を実施した例)

LaCuOS焼結体をターゲットとして用い、基板温度は室温で、PLD法によりYSZ(100)単結晶基板上に薄膜を堆積させた。得られた薄膜を、実施例1～3と同様の手法で真空封入後、1000℃で30分間加熱処理を施した。加熱処理終了後は室温まで炉内で冷却した。作製した膜のHRXRD測定から、作製した薄膜は多結晶単一相のLaCuOSであることが確認できた。この結果から単一相LaCuOS膜は得られるが、単結晶LaCuOSではなく、基材とするCu膜がなければ単結晶LaCuOS膜は得

られないことを示している。図 6 に、基材薄膜として Cu 薄膜を用いた場合と、用いなかった場合の XRD パターンを示す。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は、実施例 1 で製造した  $\text{LnCuOX}$  単結晶薄膜の結晶性を Out-of-plane XRD パターンで示すグラフである。

【図 2】

図 2 は、実施例 1 で製造した  $\text{LnCuOX}$  単結晶薄膜の 1 0 K から 3 0 0 K における光吸収スペクトルを示すグラフである。

【図 3】

図 3 は、実施例 1 で製造した  $\text{LnCuOX}$  単結晶薄膜の 1 0 K から 3 0 0 K における発光スペクトルを示すグラフである。

【図 4】

図 4 は、実施例 2 で製造した  $\text{LnCuOX}$  単結晶薄膜の結晶性を Out-of-plane XRD パターンで示すグラフである。

【図 5】

図 5 は、比較例 1 で製造した  $\text{LnCuOX}$  膜の結晶相を Out-of-plane XRD パターンで示すグラフである。

【図 6】

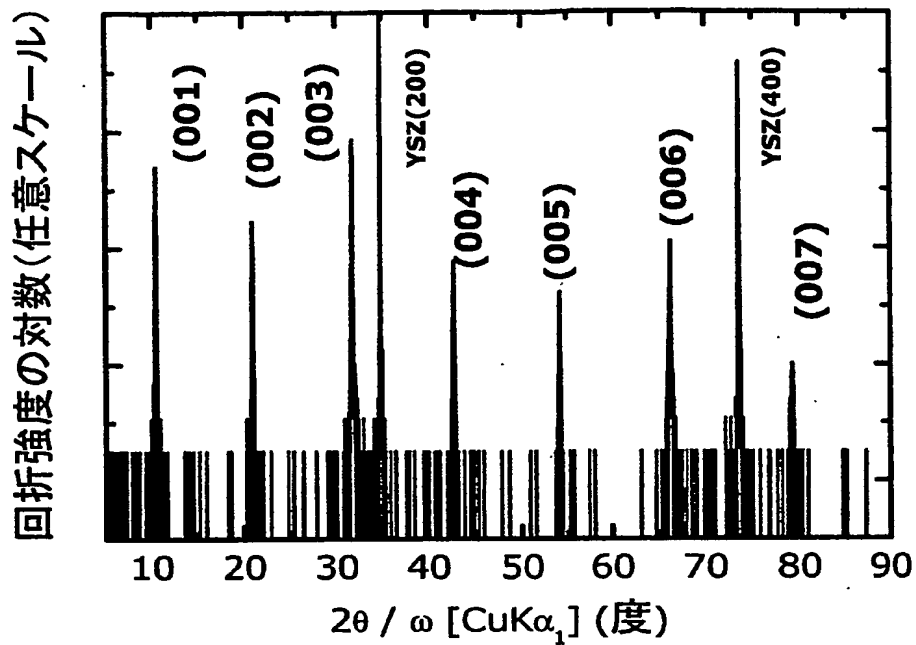
図 6 は、比較例 2 で製造した  $\text{LnCuOX}$  膜と Cu 基材薄膜を用いた場合の  $\text{LnCuOX}$  薄膜の結晶性を Out-of-plane XRD パターンで比較した結果を示すグラフである。



【書類名】

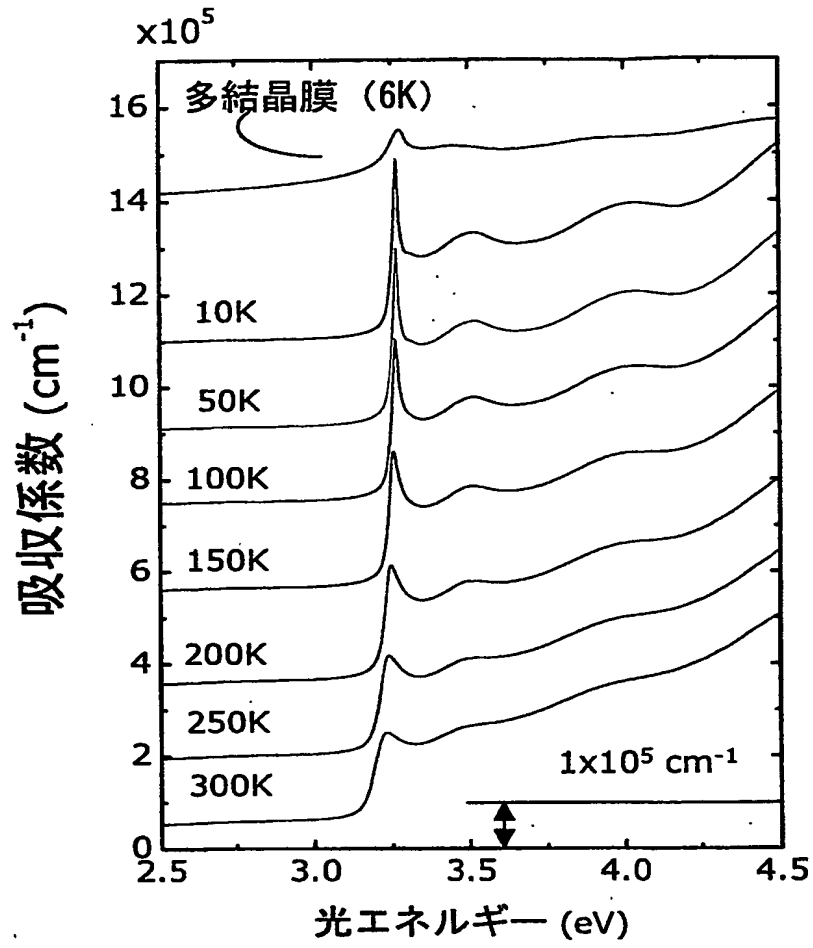
図面

【図 1】

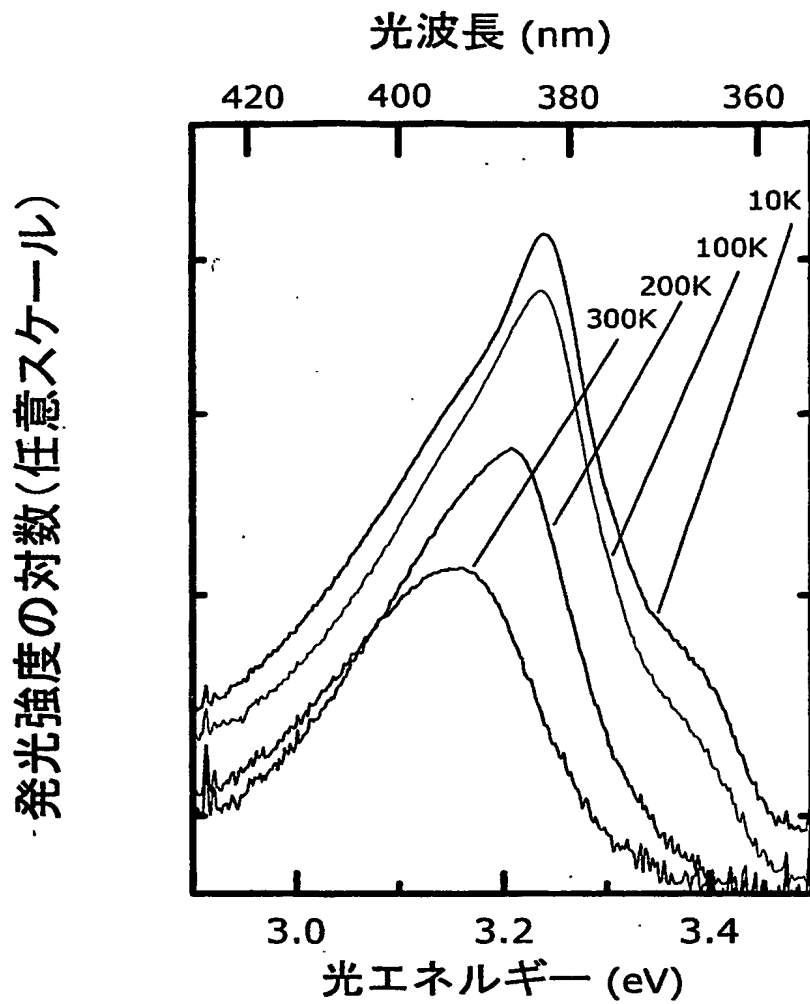


BEST AVAILABLE COPY

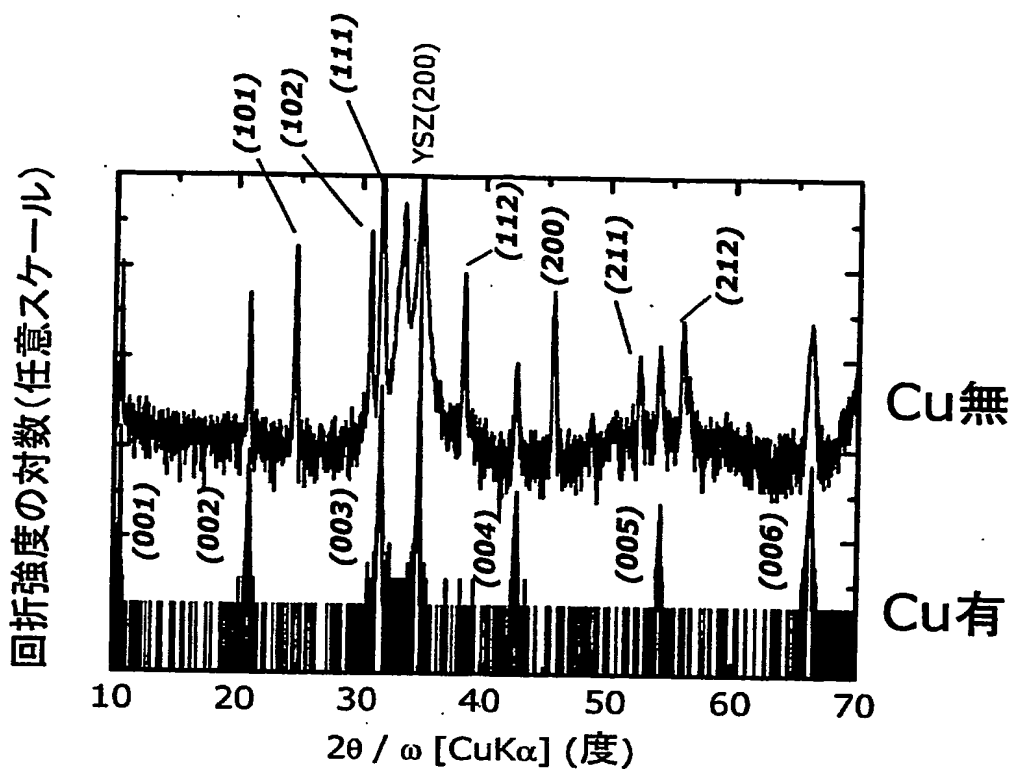
【図 2】



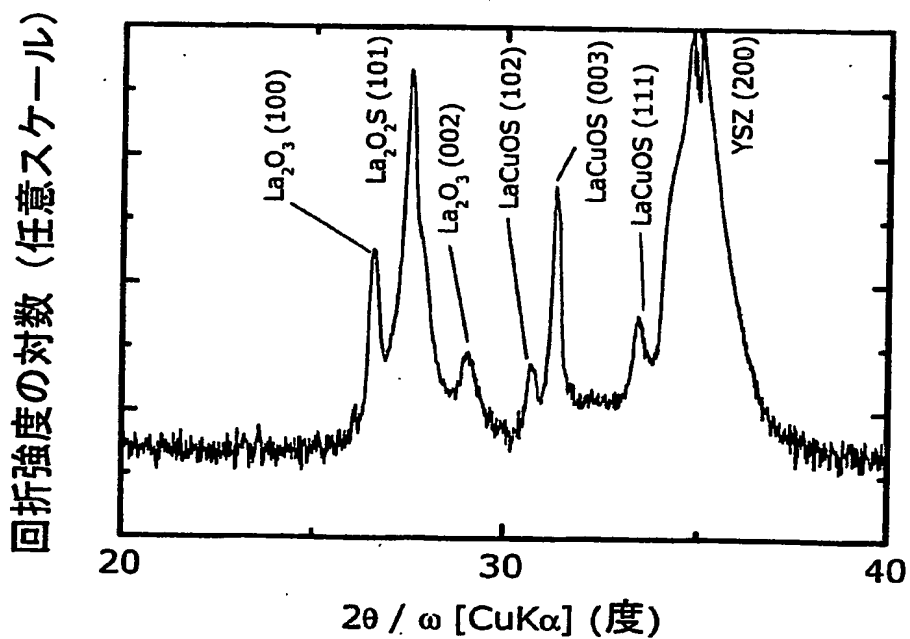
【図3】



【図4】

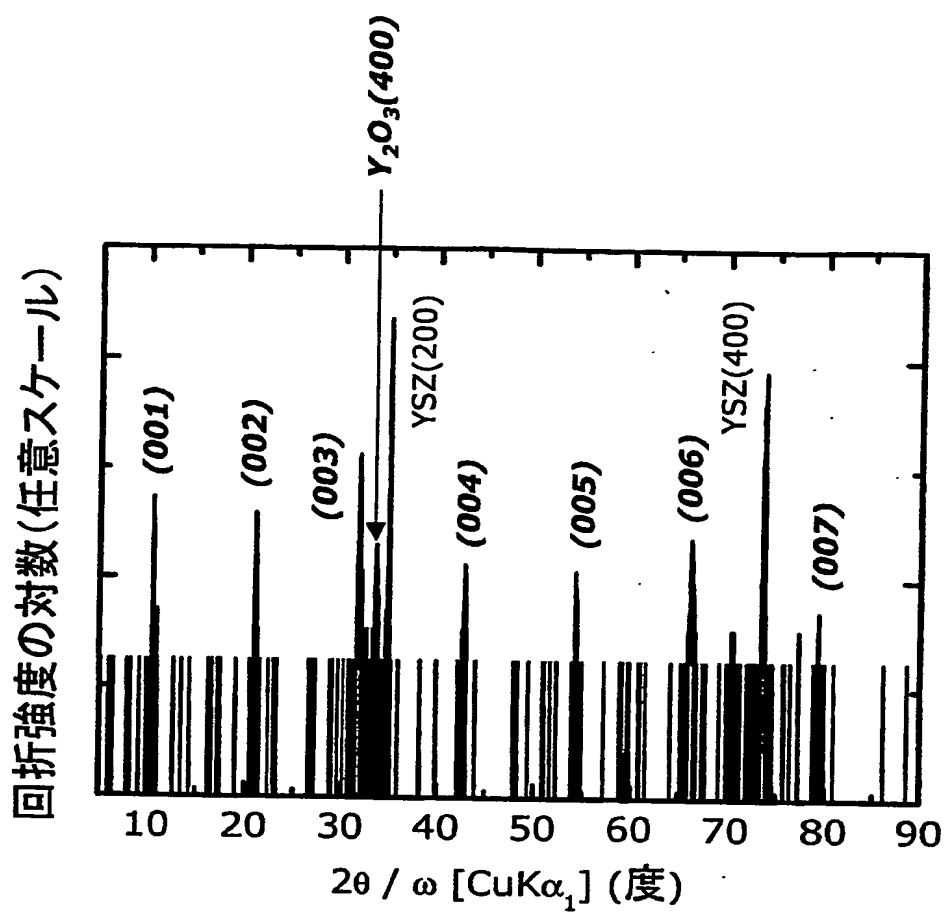


【図5】



BEST AVAILABLE COPY

【図6】



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来の $\text{LnCuOX}$ 膜は、スパッタリング法により、適切な条件でアモルファス膜を成長させ、その後高温でアニールすることによって製造されていたが、すべて多結晶であり、発光素子、電子素子材料として十分に高い発光効率、電子移動度を示していなかった。

【構成】 単結晶基板上に基材薄膜を成長させ、さらにその上に、アモルファスまたは多結晶 $\text{LnCuOX}$ （ただし、 $\text{Ln}$ は、ランタノイド元素または $\text{Y}$ のうち少なくとも1種類、また、 $\text{X}$ は、 $\text{S}$ 、 $\text{Se}$ 、または $\text{Te}$ のうち少なくとも1種類を意味する。）薄膜を堆積させた後、 $500^\circ\text{C}$ 以上の高温でアニールする。発光ダイオード素子、半導体レーザー素子、電界効果型トランジスタ素子、またはヘテロバイポーラトランジスタ素子用単結晶として適する結晶性の良い薄膜を成長させることができる。

【選択図】 図3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[396020800]

1. 変更年月日	1998年 2月24日
[変更理由]	名称変更
住 所	埼玉県川口市本町4丁目1番8号
氏 名	科学技術振興事業団

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [500038215]

1. 変更年月日 2000年 1月28日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 千葉県船橋市三山5-7-9  
氏 名 折田 政寛



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[500037942]

1. 変更年月日 2000年 1月28日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県川崎市高津区千年1184 グランドールB・202  
氏 名 太田 裕道